

1/1 PLUSPAT · (C) QUESTEL-ORBIT image

PN · JP8082810 A 19960326 [JP08082810]

TI · (A) OPTICAL SWITCH

PA · (A) FUJITSU LTD

PA0 · (A) FUJITSU LTD

IN · (A) IKEDA TATSURO

AP · JP21974894 19940914 [***1994JP-0219748***]

PR · JP21974894 19940914 [1994JP-0219748]

STG · (A) Doc. Laid open to publ. Inspec.

- AB · PURPOSE: To eliminate the absorption loss of light in optical waveguides and to enable low-voltage operation with a small size by providing an optical switch with an n type region and p type region for impressing reverse biases to these optical waveguides on both sides of the optical waveguide regions.
- CONSTITUTION: The semiconductor optical waveguide of a branch type consisting of one piece of the main optical waveguide 3 and two pieces of the branched optical waveguides 4, 5 is composed of a multiple quantum well structure. The region held by these branch optical waveguides is formed with either conduction type region 10 and the regions facing this conduction type region 10 via the branch optical waveguides 4, 5 are formed with the opposite conduction type regions 11, 12. A refractive index change arises when a reverse bias voltage is impressed between the one conduction type region 10 of the optical switch and the p type region. Total reflection is generated between the branch optical waveguide 4 on the side impressed with the reverse bias voltage and the main waveguide 3 and incident light h.nu. is introduced toward the branch optical waveguide 5 on the side not impressed with the reverse bias. Then, the change in the refractive index is utilizable to the max. possible extent if light of about 1.54.mu.m is used as the incident light h.nu. to be used. The absorption loss of the light is thus lessened.
- COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-82810

(43)公開日 平成8年(1996)3月26日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 F 1/313

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平6-219748

(22)出願日 平成6年(1994)9月14日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72)発明者 池田 達郎

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 柏谷 昭司 (外1名)

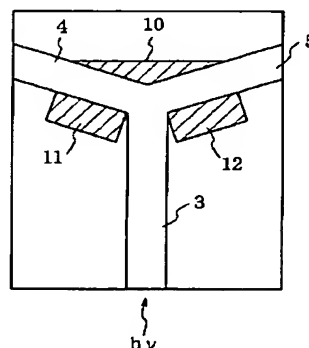
(54)【発明の名称】 光スイッチ

(57)【要約】

【目的】 光スイッチに関し、光導波路での光の吸収損失をなくすと共に、小型で感度を高め、且つ、低電圧動作を可能にする。

【構成】 1本の主光導波路3と2本の分岐光導波路4、5とからなる分岐型の半導体光導波路を半絶縁性の半導体層からなる多重量子井戸構造により構成すると共に、前記2本の分岐光導波路4、5に挟まれた領域を一導電型領域10とし、前記2本の分岐光導波路4、5を介して前記一導電型領域10に対向する2つの領域を反対導電型領域11、12にする。

本発明の原理的構成を説明する図



3: 主光導波路

4: 第1の分岐光導波路

5: 第2の分岐光導波路

10: n型領域

11: 第1のp型領域

12: 第2のp型領域

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 1 本の主光導波路と 2 本の分岐光導波路とからなる分岐型の半導体光導波路を半絶縁性の半導体層からなる多重量子井戸構造により構成すると共に、前記 2 本の分岐光導波路に挟まれた領域を一導電型領域とし、前記 2 本の分岐光導波路を介して前記一導電型領域に対向する 2 つの領域を反対導電型領域としたことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2】 上記一導電型領域と上記反対導電型領域の一方との間に逆バイアスを印加することによって、上記主光導波路から分岐光導波路への光導波の切替えを行うようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の半導体光スイッチ。

【請求項 3】 上記分岐型の半導体光導波路を導波する光の波長が、上記多重量子井戸構造のエキシトン吸収波長よりも長波長であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光スイッチ。

【請求項 4】 上記分岐型の半導体光導波路を設ける基板として、半絶縁性半導体基板を用いたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 5】 上記分岐型の半導体光導波路に対応してクラッド層に設けた分岐型の溝部を利用し、前記溝部の底面に対応する部分の上記多重量子井戸構造を光導波路としたことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 6】 上記分岐型の半導体光導波路に対応してクラッド層に設けた分岐型のメサ部を利用し、前記メサ部の頂部に対応する部分の上記多重量子井戸構造を光導波路としたことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 7】 上記分岐型の半導体光導波路と、上記主光導波路に光を入射する半導体レーザ又は分岐導波路からの光を検出する半導体光検出器の少なくとも一方をモノリシックに集積化したことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は光スイッチに関するものであり、特に、光コンピュータや光インターコネクション等の光を利用する情報処理装置の光回路を構成する光スイッチに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光を利用する情報処理装置の光回路を構成する光演算回路の基本的なものは、光スイッチであり、従来、この光スイッチとしては LiNbO_3 結晶等の強誘電体結晶を用いた光スイッチが広く用いられており、また、バルク半導体を用いた光スイッチも提案されており、この場合には、半導体レーザ或いは pin 光ダイオード等の半導体光能動素子との一体化も可能になる。

【0003】 いずれにしても、光コンピュータを構成するためには、高速光スイッチ動作の可能な素子が必要になり、この高速動作を行うためには、素子自体の寄生容量の低減及び駆動電圧の低減が必要になる。

05 【0004】 しかし、強誘電体結晶を用いた光スイッチは素子自体のサイズが大きく（ cm のオーダー）、且つ、半導体光能動素子との一体化が困難であり、光演算装置用の光スイッチには不向きである。

【0005】 一方、バルク半導体を用いた光スイッチは、半導体光能動素子との一体化・小型化が可能であるが、 LiNbO_3 結晶を用いた光スイッチに比べて電圧に対する屈折率の変化が小さいので、十分な屈折率の変化を得るためには駆動電圧を上げるか、或いは、光演算素子の長さ（光導波路長）を長くする必要がある。

15 【0006】 しかし、これらは高速動作を阻害する要因になり、或いは、光損失の原因となり、且つ、集積度の向上を阻害する要因ともなる。また、半導体を用いた光スイッチとしては、電圧の印加による屈折率の変化を利用するものの他に、電流注入型の光スイッチも提案されているが、これに高速の変調をかけた場合には、注入したキャリアが変調に追従できなくなるので、電圧印加型に比べて高速応答性の点で劣るという欠点がある。

25 【0007】 これらの欠点を改善するために、いくつかの提案が成されており、図 7 乃至図 11 を用いてこれらの提案の原理を説明する。

【0008】 図 7 は、本発明者が既に出願している半導体光スイッチ（特開平 6 - 1 4 8 6 9 9 号公報）を概略的に説明する図であり、図 7（a）は平面図であり、また、図 7（b）は、図 7（a）の一点鎖線 $B-B'$ で切断した場合の断面図、図 7（c）は、図 7（a）の一点鎖線 $C-C'$ で切断した場合の断面図である。

【0009】 図 7 参照

半絶縁性基板 1 上に設けたクラッド層 2 に 1 本の主光導波路 3 と 2 本の分岐光導波路 4、5 からなる Y 字型の分岐状の溝部を設け、MQW（多重量子井戸）層 7、クラッド層 8、及び、コンタクト層 9 を堆積したのち、光導波路の分岐部分に下側のクラッド層 2 に達する n 型不純物を導入して n 型領域 15 を形成すると共に、二つの分岐光導波路 4、5 の中央部にも同様に p 型不純物を導入して p 型領域 16、17 を形成して半導体光スイッチを構成する。

【0010】 次に、この半導体光スイッチの動作原理を、図 8 及び図 10 を用いて説明する。図 8 は、入射光波長対屈折率の電圧依存性を示す図であり、図 7 における n 型領域 15 と p 型領域 16、17 との間に逆バイアスの電圧を印加した場合に、光導波路における MQW 層 7 の屈折率が図の実線から破線に変化する。

【0011】 これは、MQW 層 7 に形成されていたエキシトン準位が印加された電界のためにその束縛状態が解かれるためである。このエキシトンは、半導体内にお

る光の吸収により生じた伝導帯の電子と価電子帯の正孔がクーロン力により互いに束縛され準位を形成するものである。

【0012】バルク半導体においては、エキシトンの束縛エネルギーは低い（例えば、GaAsの場合は、4.2 meV）ため、熱エネルギーの影響により室温では安定して存在せず、屈折率変化の電圧依存性は小さいものの、MQW構造においてはキャリアが閉じ込められるために、拘束エネルギーが高く（同じくGaAsの場合は、例えば16 meV）、室温でも安定して存在し、屈折率変化の電圧依存性は大きくなる。

【0013】図9参照

したがって、図9（a）に示すように、n型領域15とp型領域16との間に逆バイアス電圧を印加した場合には（18はn型電極、19はp型電極）、n型領域15とp型領域16との間のi型領域にほとんどの電圧が印加されることになり、電圧の印加前には図9（b）に示すように均一であった屈折率分布が、電圧の印加により図9（c）に示すようにi型領域において入射波長 λ_{sp} に対する屈折率が低下する。なお、この場合、n型領域15とp型領域16との間のi型領域の長さを2 μ mにすると、エキシトンを消滅させるためには約2 Vの電圧を印加すれば良い。

【0014】図10参照

そして、図10（a）において破線で示す屈折率が変化する境界に光を入射した場合、入射光 $h\nu$ の入射角が全反射角を越えるように屈折率変化と光導波路の交差角を設定しておく、電圧の印加された光導波路側の境界で反射が生じ、電圧の印加されなかった反対側の光導波路が光が導波して行き、光スイッチ動作が行われたことになる。図10（b）の左側は、n型領域15と第1のp型領域16との間に電圧を印加した場合の光の進路を示すものであり、図10（b）の右側は、n型領域15と第2のp型領域17との間に電圧を印加した場合の光の進路を示すものである。

【0015】n型領域とp型領域との間に電圧を印加した場合、エキシトンの消滅により屈折率は、例えば3.540から3.520に減少する。そして、屈折率が3.540の領域と屈折率が3.520の領域との間の全反射角は約84°であるので、入射光を一方の分岐導波路のみに導波させるためには主導波路と分岐導波路とのなす角 θ を180°-84°（即ち、96°）以下にすれば良く、この角度 θ は全反射角に応じて設定すれば良いものである。

【0016】また、図11は、もう一つの改善提案を示すもので（特開昭62-296129号公報）あり、同じMQW構造を利用した光導波路にショットキー電極20、21を設けたものである。この場合には、不純物の導入工程は必要ないため、電極の形成によるだけの簡単な工程によって、光スイッチを形成することができ

る。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図7に示した半導体光スイッチの場合は、n型領域15及びp型領域16、17を光の伝播する領域に設けているので、この不純物ドーピング領域であるn型領域15及びp型領域16、17で光の吸収損失が生じ、光スイッチ特性が必ずしも十分でなかった。

【0018】また、図11に示した半導体光スイッチは、光の吸収損失は生じないものの、十分な屈折率変化を得るためにMQW層7に平行に電界を印加しようとすると、構造的に電極20、21の間隔を広く、例えば25 μ mにする必要がある。そして、この広い間隔の領域に電圧を印加して十分な屈折率変化を得ようとする大きな電圧を印加する必要がある、結局、低電圧動作及び小型化が難しくなる。

【0019】したがって、本発明は、光導波路での光の吸収損失をなくすと共に、小型で低電圧動作の可能な光スイッチを提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】図1は、本発明の原理的構成を説明する図であり、図1を用いて本発明の課題を解決するための手段を説明すると、本発明は、1本の主光導波路3と2本の分岐光導波路4、5とからなる分岐型の半導体光導波路を多重量子井戸構造により構成すると共に、この分岐光導波路に挟まれた領域を一導電型領域10とし、分岐光導波路4、5を介してこの一導電型領域10に対向する領域を反対導電型領域11、12とした光スイッチに特徴を有するものである。

【0021】また、本発明は、分岐型の半導体光導波路を導波する光、即ち、入射光 $h\nu$ として、多重量子井戸構造におけるエキシトン吸収波長よりも長波長の光を用いることを特徴とする。

【0022】また、本発明は、光導波路を設ける基板として半絶縁性基板を用いることを特徴とするものであり、更に、光導波路を構成するためにクラッド層に分岐状の溝部或いは分岐状のメサ部を設けることを特徴とする。

【0023】

【作用】本発明は、分岐型の半導体光導波路を多重量子井戸構造により構成すると共に、光導波路へ逆バイアスを印加するためのn型領域及びp型領域を光導波領域の両側に設けるようにしたので光吸収損失が少なくなる。

【0024】また、入射光 $h\nu$ として多重量子井戸構造におけるエキシトン吸収波長よりも長波長の光を用いているので、屈折率の変化を最大限に利用できると共に、光の吸収損失を低減することができる。

【0025】また、基板として半絶縁性基板を用いることにより寄生容量を低減でき、更に、クラッド層に分岐状の溝部或いは分岐状のメサ部を設けることにより、簡

単な製造工程により光閉じ込め構造、即ち、所謂擬似埋め込みヘテロ接合構造を形成することができる。

【0026】

【実施例】図2乃至図5を参照して、本発明の第1の実施例であるクラッド層に分岐状の溝部を設けた光スイッチの構造及び製造工程を説明する。

【0027】図2参照

先ず、半絶縁性InP基板1上に5000Åのi型InPクラッド層2を堆積させたのち、通常のリソグラフィ工程により図2(a)に示すように主光導波路3及び2本の分岐光導波路4、5からなるY字型の分岐状の溝部6を形成する。なお、図2(b)は、図2

(a)におけるB-B'間を結ぶ一点鎖線で切った場合の断面図であり、また、図2(c)は、図2(a)におけるC-C'間を結ぶ一点鎖線で切った場合の断面図である。

【0028】図3参照

次いで、i型InPクラッド層2の上に、100ÅのInP障壁層及び100ÅのIn_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}井戸層(x=0.438, y=0.940)からなる多重量子井戸(MQW)層7、1000Åのi型InPクラッド層8、及び、i型InGaAsコンタクト層9を順次MOVPE(或いはMOCVD)法等の結晶成長法により堆積させる。これにより、段差部において、溝底部の平坦な領域の両側がMQW層7よりも屈折率の低いInPクラッド層2、8からなる側壁部に囲まれることにより光導波路を構成する。なお、この場合のMQW層7の周期は20周期である。なお、図3(a)及び(b)は、夫々図2(b)及び(c)に対応する。

【0029】図4参照

次いで、集束イオン注入装置を用いて、分岐光導波路4、5の分岐点近傍の部分にSn、Si等のn型不純物をイオン注入してn型領域10を形成し、一方、分岐光導波路4、5を介してこのn型領域10と対向する領域にはZn等のp型不純物をイオン注入してp型領域11、12を形成する。なお、図4(b)は、図4(a)におけるA-A'間を結ぶ一点鎖線で切った場合の断面図であり、不純物はMQW層7を貫通してi型InPクラッド層2に深く達するようにイオン注入される。

【0030】図5(a)参照

次いで、n型領域10上にAuGe/Au等からなるn型電極13を形成し、p型領域11(12)上にはTi/Pt等からなるp型電極を14設けて光スイッチを完成する。

【0031】次に、図5を用いて、この光スイッチの動作原理を説明する。

図5参照

この光スイッチのn型領域10とp型領域11との間に逆バイアス電圧を印加すると、図9に示す従来例と全く同じ原理により屈折率変化が生じ、逆バイアス電圧を印

加した側の分岐光導波路(図4の4)と主光導波路(図4の3)との間で全反射が生じ、入射光hνは逆バイアスの印加されない側の分岐光導波路(図4の5)の方に導かれる。

【0032】この実施例の場合には、MQW層におけるエキシトン吸収波長は約1.526μmであり、エキシトンを消滅させた場合には、1.54μm近傍(図8のλ_{op})で屈折率が最大になるので、使用する入射光hνとして1.54μm近傍の光を用いれば、屈折率の変化を最大限に利用できると共に、光の吸収損失を低減することができる。

【0033】上記第1の実施例においては、クラッド層2に分岐状の溝部を設けているが、これとは逆に図6に示すように、クラッド層2に分岐状のメサ部を設けても良いものであり、この場合には、光導波部分はメサ部の頂部の平坦部であり、光閉じ込め機構は第1の実施例と同様に段差部で形成され、それ以外の光スイッチ機構も第1の実施例と同様である。なお、図6(b)は、図6(a)におけるB-B'間を結ぶ一点鎖線で切った場合の断面図であり、また、図6(c)は、図6(a)におけるC-C'間を結ぶ一点鎖線で切った場合の断面図である。

【0034】上記実施例においては、単体の光スイッチを説明しているが、本発明は、光源としての半導体レーザ及び受光部としてのpin型フォトダイオード等の受光素子、或いは、半導体光変調器等をこの光スイッチとモノリシックに一体化して半導体光集積回路装置(オプトエレクトロニックIC)を構成することも対象としており、この場合には、光軸合わせが不要になる利点がある。

【0035】また、本発明は、上記の実施例の数値範囲に限られるものではなく、目的とする用途、即ち、使用する光の波長帯の違いに応じて、その層厚、周期数、或いは、分岐光導波路の分岐角度を設定すれば良いものであり、さらに、分岐点近傍の一導電型領域10をn型領域として説明したが、この領域をp型として、反対導電型領域11、12をn型としても良く、且つ、不純物も列挙されている元素に限られるものではない。

【0036】なお、上記の実施例における製造工程は、図7に示す従来の光スイッチ(特開平6-148699号公報)の製造工程と同様であるので詳述しなかったが、半導体層の堆積方法はMOVPEに限られるものではなく、また、不純物導入方法も場合によっては、拡散法でも良いものであり、更に、電極形成の際には、通常のリソグラフィ工程を用いてパターンニングしても良いし、フォトリソグパターンを用いたリフトオフ法を用いても良い。

【0037】また、上記実施例においては、InGaAsP/InP系を用いて説明しているが、GaAs/AlGaAs系を用いても良いものであり、この場合に

は、基板が半絶縁性GaAs、クラッド層がi型AlGaAs層、障壁層がAlGaAs或いはAlAs層、井戸層がGaAs或いはAlGaAs層、そして、コンタクト層がGaAs層となる。さらに、材料はこれに限られるものではなく、MQW半導体レーザとして使用されている、InAlAs系、或いは、InGaAlAs系等の他の半導体材料系をも当然に本発明の対象とするものである。

【0038】

【発明の効果】本発明によれば、分岐光導波路を介して対向するようにn型領域及びp型領域を設けたので、光導波路における光の吸収損失が大幅に低減され、光スイッチを小型化できると共に、その感度を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理的構成を説明する図である。

【図2】本発明の第1の実施例である分岐型の光スイッチの基板構造を説明する図である。

【図3】本発明の第1の実施例である分岐型の光スイッチの積層構造を説明する図である。

【図4】本発明の第1の実施例である分岐型の光スイッチの逆バイアス印加部の構造を説明する図である。

【図5】本発明の第1の実施例である分岐型の光スイッチに逆バイアスを印加した場合の光導波路における屈折率の変化を説明する図である。

【図6】本発明の他の実施例を説明する図である。

【図7】従来の分岐型の光スイッチの構造を説明する図である。

【図8】MQW層における入射光波長対屈折率の電圧依存性を説明する図である。

【図9】従来の分岐型の光スイッチに逆バイアスを印加した場合の光導波路における屈折率の変化を説明する図である。

【図10】従来の分岐型の光スイッチに逆バイアスを印加した場合の光導波の状態を説明する図である。

【図11】従来のショットキー電極を用いた光スイッチを説明する図である。

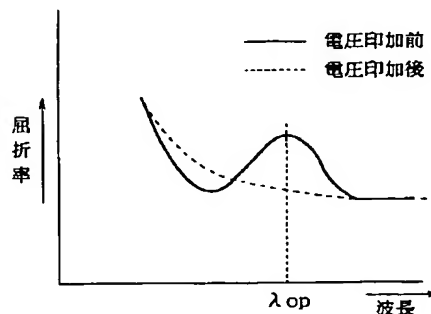
【符号の説明】

- 1 半絶縁性基板
- 10 2 クラッド層
- 3 主光導波路
- 4 第1の分岐光導波路
- 5 第2の分岐光導波路
- 6 溝部
- 15 7 多重量子井戸 (MQW) 層
- 8 クラッド層
- 9 コンタクト層
- 10 n型領域
- 11 第1のp型領域
- 20 12 第2のp型領域
- 13 n型電極
- 14 p型電極
- 15 n型領域
- 16 第1のp型領域
- 25 17 第2のp型領域
- 18 n型電極
- 19 p型電極
- 20 第1のショットキー電極
- 21 第2のショットキー電極

30

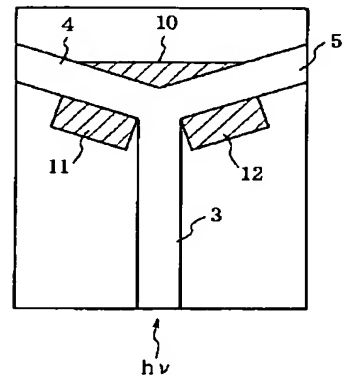
【図8】

MQW層における入射光波長対屈折率の電圧依存性を説明する図



【図 1】

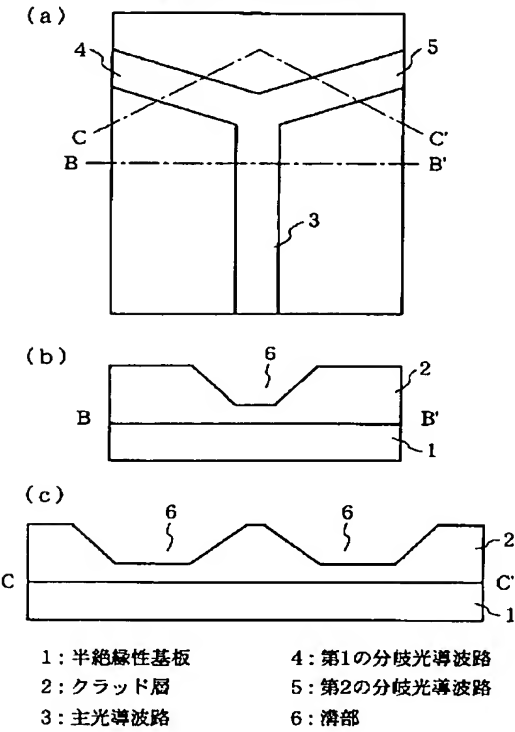
本発明の原理的構成を説明する図



- | | |
|--------------|-------------|
| 3: 主光導波路 | 10: n型領域 |
| 4: 第1の分岐光導波路 | 11: 第1のp型領域 |
| 5: 第2の分岐光導波路 | 12: 第2のp型領域 |

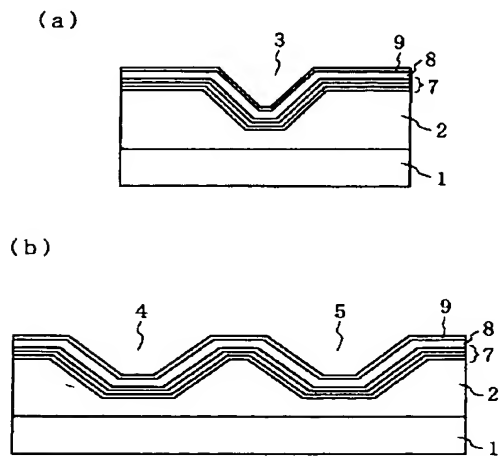
【図 2】

本発明の第1の実施例である分岐型の光スイッチの
基板構造を説明する図



【図 3】

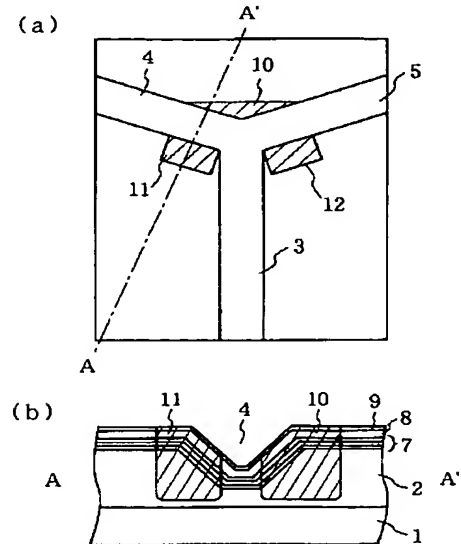
本発明の第1の実施例である分岐型の光スイッチの
積層構造を説明する図



- | | |
|-------------------|-------------|
| 1: 半絶縁性基板 | 8: クラッド層 |
| 2: クラッド層 | 9: コンタクト層 |
| 3: 主光導波路 | 10: n型領域 |
| 4: 第1の分岐光導波路 | 11: 第1のp型領域 |
| 5: 第2の分岐光導波路 | 12: 第2のp型領域 |
| 7: 多重量子井戸 (MQW) 層 | |

【図 4】

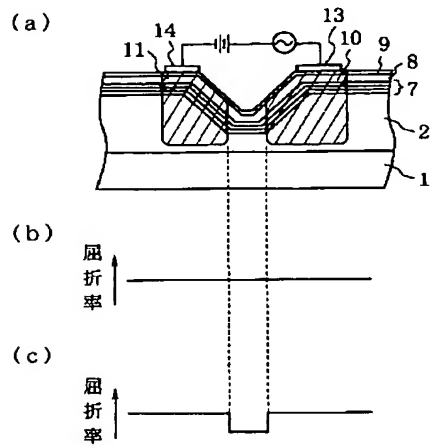
本発明の第1の実施例である分岐型の光スイッチの
逆バイアスの印加部の構造を説明する図



- | | |
|-------------------|-------------|
| 1: 半絶縁性基板 | 8: クラッド層 |
| 2: クラッド層 | 9: コンタクト層 |
| 3: 主光導波路 | 10: n型領域 |
| 4: 第1の分岐光導波路 | 11: 第1のp型領域 |
| 5: 第2の分岐光導波路 | 12: 第2のp型領域 |
| 7: 多重量子井戸 (MQW) 層 | |

【図 5】

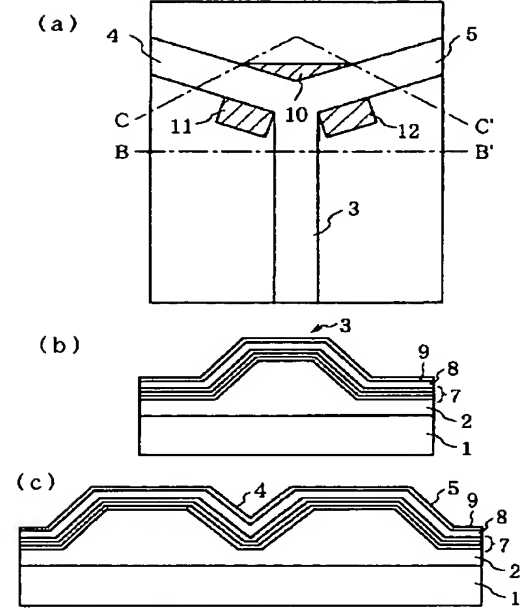
本発明の第1の実施例である分岐型の光スイッチに
逆バイアスを印加した場合の光導波路における
屈折率の変化を説明する図



- | | |
|-------------------|-------------|
| 1: 半絶縁性基板 | 10: n型領域 |
| 2: クラッド層 | 11: 第1のp型領域 |
| 7: 多重量子井戸 (MQW) 層 | 13: n型電極 |
| 8: クラッド層 | 14: p型電極 |
| 9: コンタクト層 | |

【図 6】

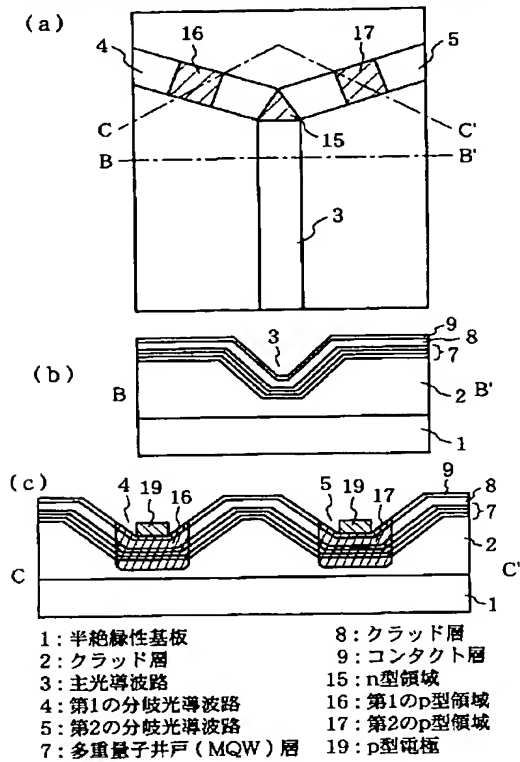
本発明の他の実施例を説明する図



- | | |
|-------------------|-------------|
| 1: 半絶縁性基板 | 8: クラッド層 |
| 2: クラッド層 | 9: コンタクト層 |
| 3: 主光導波路 | 10: n型領域 |
| 4: 第1の分岐光導波路 | 11: 第1のp型領域 |
| 5: 第2の分岐光導波路 | 12: 第2のp型領域 |
| 7: 多重量子井戸 (MQW) 層 | |

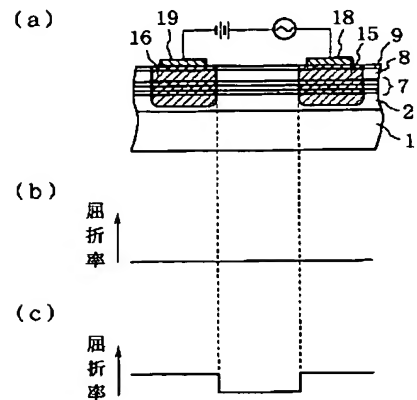
【図 7】

従来の分岐型の光スイッチの構造を説明する図



【図 9】

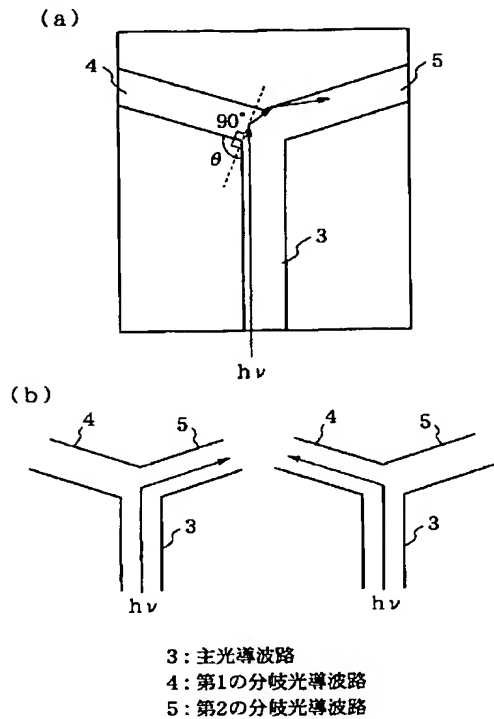
従来の分岐型の光スイッチに逆バイアスを印加した場合の光導波路における屈折率の変化を説明する図



- | | |
|-------------------|-------------|
| 1: 半絶縁性基板 | 15: n型領域 |
| 2: クラッド層 | 16: 第1のp型領域 |
| 7: 多重量子井戸 (MQW) 層 | 18: n型電極 |
| 8: クラッド層 | 19: p型電極 |
| 9: コンタクト層 | |

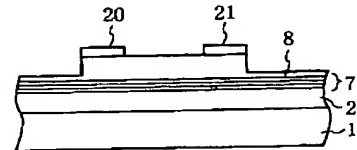
【図 1 0】

従来の分岐型の光スイッチに逆バイアスを印加した場合の光導波の状態を説明する図



【図 1 1】

従来のショットキー電極を用いた光スイッチを説明する図



- 1: 半絶縁性基板
- 2: クラッド層
- 7: 多重量子井戸 (MQW) 層
- 8: クラッド層
- 20: 第1のショットキー電極
- 21: 第2のショットキー電極